



Pembuatan Biodiesel dari Minyak Sawit Secara Kontinyu Dalam Model Reaktor Berisian

Heny Dewajani *

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang
Jl. Soekarno Hatta No.9 Malang

Abstract

Biodiesel is an alternative fuel made from tree-plants for diesel machine containing alkyl ester of fatty acids. Generally, biodiesel process is carried out in batch with resident time about 90 minutes. For larger capacity, biodiesel can be produced in continuous to make reaction time shorter. The aim of this research is to make biodiesel in continuous using packed reactor model. The packed reactor model is designed to make the surface contact between reactants with catalyst occurs in homogenizing stage. To evaluate the performance of reactor followed by experiment, palm oil reacted with methanol catalysed by potassium hydroxide at 60°C, mole ratio of palm oil: methanol are 5:1, 6:1, and 7:1, while the weight percentage of catalyst to palm oil are 0.5; 1; 1.5; and 2% respectively. The best characteristics obtained at mol ratio 7:1 with amount of catalyst 2%, i.e. density 0.864 g/cm³, flash point 120°C, viscosity 4.82 cst, pour point 13°C, CCI 48.28, and FAME 98.14%.

Keywords: *biodiesel, packed reactor model, palm oil*

Pendahuluan

Kebutuhan minyak bumi dari hari ke hari semakin meningkat, bahkan konsumsinya pun melebihi kapasitas yang seharusnya. Keadaan ini diperkirakan akan berlangsung terus-menerus dan jika hal ini dibiarkan begitu saja, maka suatu saat akan terjadi kelangkaan bahan bakar minyak bumi (BBM). Untuk mengantisipasi terjadinya kelangkaan bahan bakar minyak bumi pada masa yang akan datang, saat ini dunia internasional telah menemukan bahan bakar alternatif lain yang diolah dari minyak tumbuhan, yang lebih dikenal dengan biodiesel.

Umumnya pembuatan biodiesel menggunakan proses transesterifikasi dengan metode *batch*, dimana proses tersebut terjadi pencampuran serta pengadukan antara bahan baku utama biodiesel dengan katalis secara bersamaan dan adanya proses pendiaman dalam selang waktu tertentu sampai terbentuk 2 lapisan. Ada metode lain dalam pembuatan biodiesel, yaitu metode kontinyu dengan menggunakan *plug flow reactor*. Metode kontinyu memiliki keuntungan dibandingkan dengan metode *batch* yaitu kemudahan pengendalian reaksinya, kekompakannya karena kebutuhan ruangan yang relatif kecil, serta kemudahan melakukan *scaling* untuk produksi berskala besar.

Pada penelitian sebelumnya (Arita, Susila. 2009), dilakukan terhadap kinerja dari *batch reactor* dan *fixed bed reactor* yang digunakan untuk memproduksi biodiesel menggunakan katalis padat untuk digunakan pada reaksi transesterifikasi pada suhu 55-65°C, volume reaktor *batch* 1 liter, jumlah katalis padat 1%, 1,5%, dan 2% dari jumlah bahan baku, waktu reaksi bervariasi 1jam, 2jam, dan 3jam dengan menggunakan methanol sebagai pelarut. Sedangkan *fixed bed reactor* panjang 30cm, diameter 1inch dengan waktu sirkulasi sama (1-3jam). Kinerja reaktor dilihat dari *yield* produk dan kualitas produk yang dihasilkan. Pada penelitian ini diperoleh konversi tertinggi dengan *batch reactor* sebesar 94,4 %, sedangkan dengan *fixed bed reactor* hanya 91% pada kondisi yang sama. Kualitas biodiesel yang masuk standar adalah hasil produk dari *fixed bed reactor* sedangkan untuk *batch reactor* angka asam masih cukup tinggi (>0.8).

Sebuah PFR mempunyai efisiensi lebih tinggi dari pada *batch reactor* pada volume yang sama. Sedangkan pada *space time* yang sama, PFR mempunyai konversi yang lebih besar dari *batch reactor*. Pada penelitian ini, *fixed bed reactor* adalah PFR yang diberi *packing* berfungsi agar fluida menjadi turbulen sehingga memberikan kehomogenan antara umpan dengan reaktan.

*telp.(0341) 404424, email : henyhp@yahoo.com

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengolahan minyak curah menjadi biodiesel sebagai bahan bakar alternatif yang dapat diperbaharui dengan menggunakan reaktor alir berisian (*fixed bed reactor*) dengan variasi perbandingan mol minyak terhadap methanol dan jumlah katalis yang digunakan.

Landasan Teori

Biodiesel dapat dibuat dari minyak nabati maupun lemak hewani, namun yang paling umum digunakan sebagai bahan baku adalah minyak nabati. Minyak nabati dan biodiesel tergolong ke dalam kelas besar senyawa-senyawa organik yang sama, yaitu kelas ester asam-asam lemak. Akan tetapi, minyak nabati adalah triester asam-asam lemak dengan gliserol, atau trigliserida, sedangkan biodiesel adalah monoester asam-asam lemak dengan methanol. Perbedaan wujud molekuler ini memiliki beberapa konsekuensi penting dalam penilaian keduanya sebagai kandidat bahan bakar mesin diesel :

1. Minyak nabati (yaitu trigliserida) berberat molekul besar, jauh lebih besar dari biodiesel (yaitu metil ester). Akibatnya, trigliserida relatif mudah mengalami perengkahan (*cracking*) menjadi ane-ka molekul kecil, jika terpanaskan tanpa kontak dengan udara (oksigen).
2. Minyak nabati memiliki kekentalan (viskositas) yang jauh lebih besar dari minyak diesel/solar maupun biodiesel, sehingga pompa injeksi bahan bakar di dalam mesin diesel tidak mampu menghasilkan peng-kabutan (*atomization*) yang baik ketika minyak nabati disemprotkan ke dalam ruang pembakaran.
3. Molekul minyak nabati relatif lebih bercabang dibanding ester metil asam-asam lemak. Akibatnya, angka setana minyak nabati lebih rendah daripada angka setana metil ester. Angka setana adalah tolok ukur kemudahan menyala/terbakar dari suatu bahan bakar di dalam mesin diesel.

Di luar perbedaan yang memiliki tiga konsekuensi penting di atas, minyak nabati dan biodiesel sama-sama berkomponen penyusun utama (≥ 90 %-berat) asam-asam lemak. Pada kenyataannya, proses transesterifikasi minyak nabati menjadi ester metil asam-asam lemak, memang bertujuan memodifikasi minyak nabati menjadi produk (yaitu biodiesel) yang memiliki kekentalan mirip solar, memiliki angka setana lebih tinggi, dan relatif lebih stabil terhadap perengkahan (Mescha, 2007).

Reaktor alir pipa (*Plug Flow Reactor, PFR*) digunakan untuk mereaksikan suatu *reactant* dalam hal ini fluida dan mengubahnya menjadi produk dengan cara mengalirkan fluida tersebut dalam pipa secara berkelanjutan (*continuous*) (Levenspiel, 1999).



Gambar 1. Plug Flow Reaktor (PFR)

Dalam sebuah PFR, satu atau lebih pereaksi (fluida) dipompakan melalui sebuah pipa atau tabung dan reaksi kimia terjadi sepanjang PFR. Pada reaktor ini kecepatan reaksi pada masuk PFR dengan kecepatan sangat tinggi. Beberapa aspek penting pada reaktor PFR adalah:

1. Di dalam PFR, fluida mengalir dengan perlakuan yang sama sehingga waktu tinggal (τ) sama untuk semua elemen fluida. Fluida sejenis yang mengalir melalui reaktor ideal disebut *plug*. Saat *plug* mengalir sepanjang PFR, fluida bercampur sempurna dalam arah *radial* bukan dalam arah *axial* (dari arah depan atau belakang). Setiap *plug* dengan volume berbeda dinyatakan sebagai kesatuan yang terpisah-pisah (hampir seperti *batch reactor*) saat mengalir turun melalui pipa PFR.
2. Pereaksi dapat dimasukkan dalam PFR melalui lokasi yang berbeda dari *infeed*. Dengan cara ini efisiensi tinggi dapat diperoleh atau ukuran dan biaya PFR dapat dikurangi.
3. Sebuah PFR mempunyai efisiensi lebih tinggi dari pada RATB pada volume yang sama. Pada *space time* yang sama, suatu reaksi akan menghasilkan konversi PFR yang lebih tinggi dari pada RATB.

PFR biasa digunakan untuk mempelajari beberapa proses penting seperti reaksi *thermal* dan reaksi kimia plasma dalam aliran gas yang cepat serta daerah katalisis. Dalam beberapa kasus, hasil yang didapat tidak hanya membantu kita dalam memahami karakteristik proses-proses kimia, tetapi juga dapat memberikan kita pengertian praktis dari proses kimia yang penting.

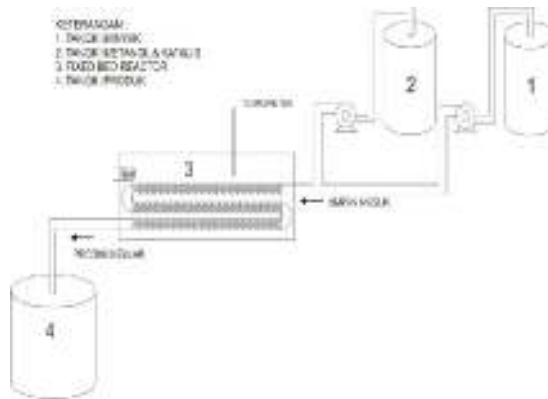
Kolom isian (*packed column*), merupakan kolom berbentuk silinder tegak dilengkapi dengan lubang untuk mengalirkan larutan umpan dan pelarut. Pada kolom isian, dinamika tetesan atau pergerakan tetesan diantara celah bahan isian akan berpengaruh terhadap besarnya luas permukaan kontak serta hambatan perpindahan massa. Isian juga berfungsi untuk memperluas bidang kontak agar pencampuran semakin homogen. Untuk menahan bahan isian tetap tinggal dalam kolom, maka pada bagian dalam kolom dipasang plat berlubang, yang memungkinkan untuk dilewati oleh fasa kontinyu dan fasa terdispersi. Kontak antar kedua fasa tersebut terjadi pada permukaan kedua cairan yang berada diantara bahan isian. Fasa kontinyu mengisi celah-celah rongga diantara bahan isian dan akan terus mengalir mengikuti jalur yang terbentuk di antara bahan isian. Pada saat mengalir fasa kontinyu akan membentuk lapisan tipis di permukaan bahan isian. Sedangkan fasa terdispersi yang mengalir dari bagian bawah, pola alirannya dipengaruhi oleh tingkat kebasahan bahan isian oleh fasa kontinyu (Danu, 2009).

Metodologi Penelitian

Bentuk penelitian ini adalah eksperimen yang dilakukan dalam skala laboratorium. Penelitian dimulai dengan merancang reaktor alir berisian

(fixed bed) sebagai model produksi biodiesel secara kontinyu, dan menguji alat (*performance*) yang telah dibuat dengan variabel perbandingan mol methanol terhadap mol minyak dan jumlah katalis yang digunakan (% berat terhadap minyak), serta menganalisa kualitas biodiesel yang dihasilkan.

Dari hasil rancang bangun, reaktor dibuat dari bahan stainless steel dengan volume reaktor 2500 ml, dengan diameter dalam reaktor 1.58 cm dan panjang 12 meter. Bahan isian yang digunakan berupa *raschig rings*.



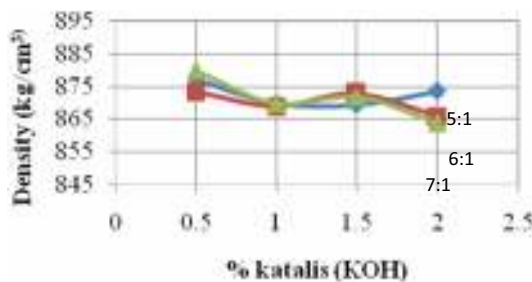
Gambar 1. Skema gambar rangkaian alat penelitian

Hasil dan Pembahasan

Untuk mengetahui kemampuan reaktor kontinyu pada proses transesterifikasi, dalam penelitian ini digunakan 1500 gram minyak sawit dan methanol sebagai reaktan dengan katalis KOH (perbandingan mol methanol terhadap mol minyak dan % KOH dibuat menjadi variabel). Reaksi dilakukan pada temperatur 60 °C Untuk mengetahui karakteristik dari biodiesel minyak sawit maka dilakukan analisa ASTM, meliputi:

1. Massa Jenis

Massa jenis merupakan sifat fisik yang berkaitan dengan nilai kalori dan daya yang dihasilkan oleh mesin diesel per satuan volume bahan bakar. Makin ringan bahan bakar semakin rendah pula massa jenisnya dan sebaliknya makin berat bahan bakar semakin tinggi massa jenisnya.



Keterangan: rasio mol methanol terhadap mol minyak

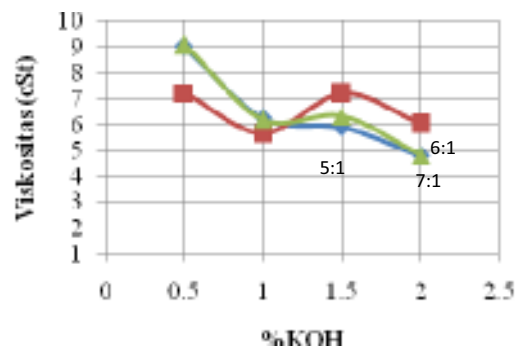
Gambar 2. Hasil analisa massa jenis biodiesel pada berbagai variabel

Dari grafik yang diperoleh menunjukkan bahwa meskipun ada kenaikan nilai massa jenis pada variabel ratio mol methanol terhadap mol minyak 6:1 dan 7:1 dengan % katalis (KOH) 1.5%, namun secara keseluruhan semakin banyak % katalis yang diberikan nilai massa jenis variabel ini cenderung turun. Standar ASTM untuk massa jenis biodiesel adalah antara 850 kg/m³ – 890 kg/m³ dan nilai massa jenis biodiesel minyak sawit yang dihasilkan masih memenuhi standar tersebut.

2. Viskositas

Viskositas merupakan tahanan yang dimiliki fluida yang dialirkan dalam pipa kapiler terhadap gaya gravitasi yang biasanya dinyatakan dalam waktu yang diperlukan untuk mengalir pada jarak tertentu. Viskositas yang terlalu tinggi akan membuat bahan bakar teratomisasi menjadi tetesan yang lebih besar sehingga akan mengakibatkan deposit pada mesin. Tetapi apabila viskositas terlalu rendah akan memproduksi spray yang terlalu halus sehingga terbentuk daerah *rich zone* yang menyebabkan terjadinya pembentukan jelaga (Prihandana, 2006: 64).

Nilai viskositas biodiesel yang diperoleh dari grafik di bawah ini menunjukkan bahwa dengan bertambahnya persen katalis yang diberikan harga viskositasnya cenderung menurun. Karena semakin banyak persen katalis yang diberikan akan semakin cepat pula terpecahnya trigliserida menjadi tiga ester asam lemak yang akan menurunkan viskositas 5-10 persen (Prihandana, 2006: 37).



Keterangan: rasio mol methanol terhadap mol minyak

Gambar 3. Hasil analisa viskositas biodiesel pada berbagai variabel yang dilakukan

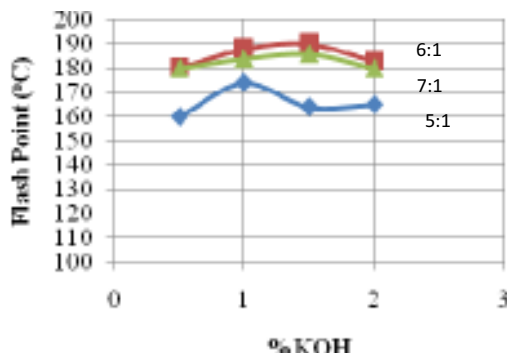
Pada variabel rasio mol methanol terhadap mol minyak 5:1, 6:1 dan 7:1 dengan % katalis 0.5 % diperoleh harga viskositas di atas batas standar maksimum ASTM. Hal ini dimungkinkan karena masih banyak minyak yang belum terkonversi menjadi methyl ester. Sementara pada variabel rasio mol methanol terhadap mol minyak 6:1 dengan % katalis 1.5% nilai viskositasnya tinggi, hal ini dimungkinkan karena reaksi yang terjadi pada

variabel ini tidak sempurna. Jadi nilai viskositas yang memenuhi standar ASTM ditunjukkan pada variabel rasio mol methanol terhadap mol minyak 5:1 dengan % katalis 1.5 %, rasio mol methanol terhadap mol minyak 6:1 dengan % katalis 1 %, dan rasio mol methanol terhadap mol minyak 7:1 dengan % katalis 2 %.

3. Flash Point

Flash point (titik nyala atau titik kilat) adalah titik suhu terendah yang menyebabkan bahan bakar dapat menyala. Penentuan titik nyala ini berkaitan dengan keamanan dalam penyimpanan dan penanganan bahan bakar. Pada standart ASTM biodiesel nilai flash point min. 100°C karena untuk mengeliminasi kontaminasi methanol akibat proses konversi minyak nabati yang tidak sempurna (Prihandana, 2006:67).

Pada grafik berikut ini dapat dilihat bahwa biodiesel yang dihasilkan di atas batas minimum standar ASTM, sehingga dapat dikatakan bahwa nilai *flash point* yang diperoleh memenuhi standar. Selain itu dapat dilihat juga bahwa semakin besar katalis yang diberikan maka nilai *flash point*-nya cenderung kecil sehingga biodiesel lebih mudah terbakar dan perambatan api lebih cepat. Jika nilai *flash point* terlalu tinggi maka penyalanya akan sangat sulit sehingga membutuhkan lebih banyak energi untuk dapat menyala.

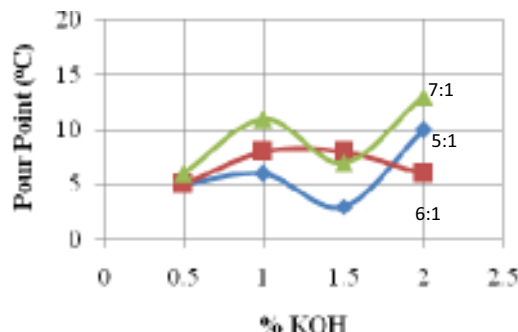


Keterangan: rasio mol methanol terhadap mol minyak

Gambar 4. Hasil analisa flash point biodiesel pada berbagai variabel yang dilakukan

4. Pour Point

Cloud point (titik kabut) adalah suhu suatu minyak mulai keruh bagaikan berkabut, tidak lagi jernih pada saat didinginkan. Jika suhu diturunkan lebih lanjut akan didapat *pour point* atau titik tuang yang merupakan titik suhu terendah yang menunjukkan mulai terbentuknya kristal parafin yang dapat menyumbat saluran bahan bakar. Tujuan dilakukannya *pour point* untuk mengetahui besarnya suhu terendah dimana bahan bakar masih dapat mengalir apabila didinginkan pada kondisi tertentu. Nilai *pour point* Standar ASTM biodiesel ialah max 18°C.



Keterangan: rasio mol methanol terhadap mol minyak

Gambar 5. Hasil analisa Pour Point Biodiesel pada Berbagai Variabel yang Dilakukan

Dari grafik di atas didapatkan nilai *pour point* dibawah maksimal sehingga biodiesel dapat digunakan pada suhu 0°C (memenuhi standar ASTM).

5. Calculated Cetane Index (CCI)

Angka setan (*cetane number*) adalah prosentase volume cetane dalam campurannya dengan alphamethyl naphthalen ($C_{10}H_7CH_3$) yakni suatu senyawa hidrokarbon aromatis yang memiliki kelambatan penyalan yang besar, yang mempunyai kualitas yang sama dengan bahan bakar diesel (Hardjono, 1987:74). Angka setan menunjukkan kemampuan bahan bakar menyala dengan sendirinya dalam ruang bakar motor diesel.

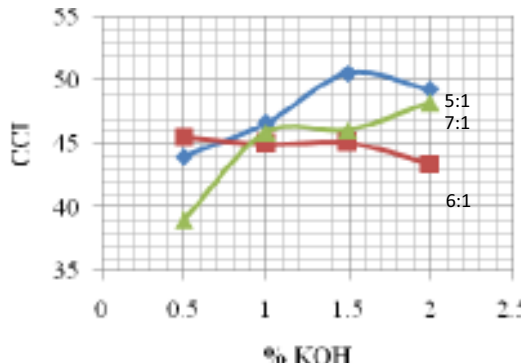
Semakin tinggi angka setan, semakin cepat pembakaran semakin baik efisiensi termodinamisnya. Untuk mengetahui nilai dari *cetane number* digunakan pendekatan dengan CCI (*Calculate Cetane Index*) dimana nilainya bergantung pada besarnya API gravity atau *density* dan *mid boiling point*. Nilai *mid boiling point* diperoleh dari suhu pada distilat 50%.

Suhu distilasi menyatakan volatilitas atau kecenderungan suatu cairan berubah menjadi gas. Volatilitas medium (50% recovery) ada kaitannya dengan kecenderungan terjadinya asap, hal ini mungkin disebabkan oleh pengaruh injeksi dan pencampuran minyak solar. Volatilitas yang terlalu rendah akan menurunkan daya yang dihasilkan oleh motor diesel karena bahan bakar akan lebih sulit diatomisasi, sedangkan volatilitas yang terlalu tinggi juga akan menyebabkan menurunnya daya karena timbulnya *vapor lock* selain itu juga dapat menimbulkan detonasi.

Pada grafik berikut ini menunjukkan bahwa hanya ada tiga biodiesel yang nilai CCI-nya lebih besar dari 47 yakni, variabel rasio mol methanol terhadap mol minyak 5:1 dengan % katalis 1.5% dan 2%, serta rasio mol methanol terhadap mol minyak 7:1 dengan % katalis 2%. Sementara biodiesel dengan variabel lain nilai CCI-nya di bawah 47 (tidak memenuhi batas minimum standar ASTM). Hal ini

dimungkinkan karena biodiesel dengan variabel tersebut pada saat didistilasi suhu uapnya sudah turun sebelum tercapai 50% distilat sehingga besarnya CCI tidak dapat dihitung.

Penurunan suhu uap ini bisa diakibatkan karena sudah tidak ada lagi komponen yang menguap, selain itu bisa dikarenakan komponen yang didistilasi menunjukkan volatilitas yang sangat rendah. Jika volatilitasnya sangat rendah maka bahan bakar seperti ini tidak cocok digunakan untuk mesin diesel karena akan berdampak pada konsumsi bahan bakar dan emisi yang dihasilkan.



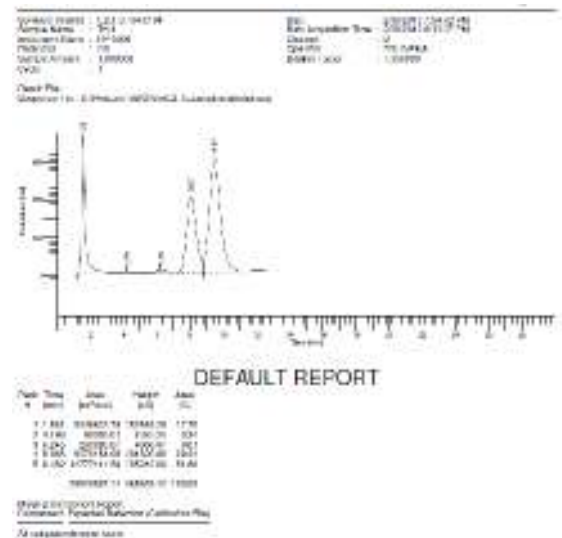
Keterangan: rasio mol methanol terhadap mol minyak

Gambar 6. Hasil analisa CCI Biodiesel pada Berbagai varia bel yang Dilakukan

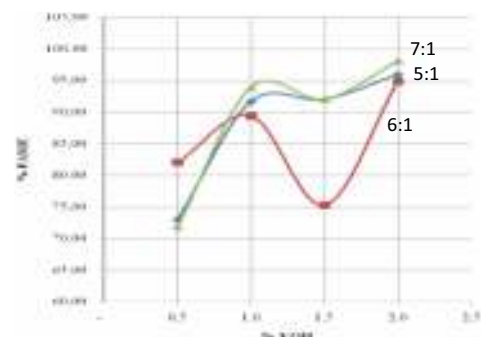
6. Prosentase FAME (Fatty Acid Methyl Ester)

Persen FAME menyatakan persen ester dari asam lemak-asam lemak yang terkandung dalam suatu biodiesel (FAME). Prosentase ini didapat dengan menggunakan analisa GC (Gas Chromatography)

Dari grafik berikut diperoleh prosentase FAME yang cukup tinggi, yakni di atas 71%. Untuk hasil biodiesel dengan prosentase tertinggi didapatkan oleh variable perbandingan mol methanol : minyak dengan perbandingan 7:1 dengan kadar KOH terhadap berat minyak 2 %, yakni prosentase FAME sebesar 98.14 %. Hal ini membuktikan bahwasannya dengan adanya excess methanol yang berlebih maka reaksi akan berjalan ke kanan sedangkan adanya prosentase berat KOH terhadap minyak ialah berfungsi menurunkan energi aktivasi pada suatu reaksi, maka dari itu kadar FAME yang didapat semakin besar.



Gambar 7. Hasil kromatogram biodiesel untuk perbandingan methanol : minyak 7:1 dengan KOH 2%



Keterangan: rasio mol methanol terhadap mol minyak

Gambar 8. Hasil Analisa Persen FAME dari Biodiesel pada Berbagai Variabel yang Dilakukan

Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat disimpulkan:

1. Rancangan reaktor alir berisian (*fixed bed*) dapat digunakan sebagai model produksi biodiesel secara kontinyu
2. Reaktor alir berisian (*fixed bed*) yang telah dirancang dapat menghasilkan biodiesel dengan % FAME tertinggi 98% pada ratio mol methanol dengan mol minyak 7:1 dan % katalis 2% dari berat minyak.
3. Pada ratio mol methanol terhadap mol minyak 7:1 dan % katalis 2 %, didapat kualitas biodiesel yang memenuhi standar ASTM. Artinya biodiesel ini layak dijadikan sebagai bahan bakar mesin diesel.
4. Untuk membuat aliran umpan bersifat kontinyu maka bahan isian dapat diganti menggunakan penghalang (*baffle*)

Ucapan terima kasih

Penulis menyampaikan terima kasih atas Politeknik Negeri Malang yang telah membantu terlaksananya penelitian ini dengan dana penelitian kompetisi dari dana DIPA no.0116/023-04.2/XV/2010.

Daftar Pustaka

- Ariono, Danu, dkk, 2009. “ PERUBAHAN DISTRIBUSI UKURAN TETESAN DALAM KOLOM ISIAN”. Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia – SNTK
- Arita, Susila.2009. Perbandingan Proses Pembuatan Biodiesel di Dalam Reaktor Batch dan Fixed Bed Reaktor Dengan katalis Padat Alumina Berbasis Logam. Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia – SNTKI
- ASTM. 2002. *Annual Book of ASTM Standar Section Five Petroleum Products, Lubrication, and fossil fuels*. ASTM, America.
- Darnoko, D; Cheryan, Munir, 2000. “*Kinetics of Palm Oil Transesterification in a Batch Reactor*”.
- Departemen Perindustrian. 2007. “ Gambaran Sekilas Industri Minyak Kelapa Sawit”.
- Destiana, Mescha, dkk, 2007. *Intensifikasi Proses Produksi Biodiesel*. Institute Teknologi Bandung dan P.T. Rekayasa Industri
- Hardjono, 1987. *Teknologi Minyak Bumi I*, Universitas Gajah Mada, Jogjakarta
- Levenspiel, Octave, 1999, *Chemical Reaction Engineering 3rd*, New York: John Wiley and Sons, Inc. International Edition
- Prihandana, Rama dan Hendroko, Roy, 2006. *Energi Hijau 'Pilihan Bijak Menuju Negeri Mandiri Energi'*, PT Agromedia Pustaka, Jakarta.
- Setyawardhani, Ardiana Dwi. 2008. *Pengaruh Rasio Methanol / Minyak Terhadap Parameter Kecepatan Reaksi Methanolisis Minyak Jelantah dan Angka Setana Biodiesel*. Teknik Kimia Fakultas Teknik UNS.